

Etude de la reprise d'humidité dans les matériaux intégrés en microélectronique

Hélène Fremont, Genevieve Duchamp, Grégory Imbert, Vivien Cartailier, Léo Mischler
STMicroelectronics Grenoble & IMS Laboratoire Bordeaux
Résumé 2022

La thèse poursuit les travaux de Vivien Cartailier sur la reprise d'humidité dans les matériaux intégrés. Ces derniers sont principalement des diélectriques présents dans les interconnexions métalliques de puce imager. On y retrouve notamment des SIOCH denses et poreux, des SiO₂ et des SiCN. Lors de la thèse précédente, la reprise d'humidité de ces matériaux seuls (non intégrés) a pu être étudiée au travers de méthodes telles que des suivis de masse, l'évolution du rayon du courbure ou encore du FTIR. En revanche, lorsque ces matériaux sont assemblés, l'étude de la reprise d'humidité passe principalement par des mesures électriques grâce à différentes sortes de capacités embarquées dans les tests chip. Un des principaux objectifs de la thèse est de soumettre ces matériaux à différents types de stress environnementaux (température, % d'humidité relative) afin d'évaluer leurs comportements dans une structure intégrée et à terme de pouvoir les modéliser.

Les études sur le facteur d'accélération entre les différentes conditions environnementales dans le domaine des semi-conducteurs sont principalement basées sur le modèle de Peck :

$$MTTF = A \times (RH)^{-n} \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$$

où MTTF est le temps moyen jusqu'à la défaillance, A0 est une constante, n l'exposant d'humidité relative, k est la constante de Boltzmann et E_a est l'énergie d'activation thermique. Ce modèle reprend la dépendance en température d'Arrhenius en incluant l'humidité relative (RH) avec une loi de puissance modulée par le paramètre n. Les conditions de stockage THS (Thermal Humidity Storage) 60°C /85%RH, 85°C/85%RH et HAST 130°C/85%RH sont comparées. Basé sur le modèle de Peck, l'énergie d'activation se situe dans l'intervalle [0.26 ;0.30] eV. Cette valeur est retrouvée dans la littérature au travers de mécanismes de dégradation et de diffusion par l'interface. L'étude du paramètre n de l'humidité est en cours avec 3 autres stockages à température constante.

De plus, un modèle Comsol basé sur une analogie entre la diffusion thermique et celle de l'humidité est en train d'être développé. L'objectif est de relier les paramètres extraits lors de la reprise de masse des matériaux seuls avec la variation de capacité du stack intégré. La corrélation entre le modèle Comsol et les résultats expérimentaux sur les matériaux seuls est bonne. En revanche, les paramètres des matériaux seuls ne semblent pas pouvoir expliquer la reprise d'humidité sur les matériaux intégrés. Une couche d'interface dont les paramètres sont à approximer est nécessaire pour expliquer le mécanisme de diffusion d'humidité. Complémentaires à la simulation, d'autres perspectives sont également à étudier comme le chemin de diffusion de l'humidité dans les puces. Pour cela, une étude en cours consiste à remplacer l'eau par de l'eau deutérée afin de tracer un élément plus lourd que l'hydrogène, le deutérium grâce à des méthodes de caractérisations telles que le Tof SIMS.